

Process for coating substrates.

Patent Number: ☐ EP0497119

Publication date: 1992-08-05

Inventor(s): BEHR FRIEDRICH PROF DR (DE); ARNDT CHRISTIAN DIPL-ING (DE)

Applicant(s):: THYSSEN EDELSTAHLWERKE AG (DE)

Requested Patent: ☐ DE4102495

Application Number: EP19920100376 19920111

Priority Number(s): DE19914102495 19910129

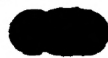
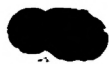
IPC Classification: C23C24/10 ; C23C26/02

EC Classification: C23C24/10B, C23C26/02, B23K35/32K, B23K35/34

Equivalents:

Abstract

The invention relates to a process for producing layers on substrate surfaces and to the production of shaped parts from multiple layers after the fashion of build-up welding with the aid of energy supplied from an energy source in or on the substrate or in the layer material, which is partly or wholly composed of filler material. The substrate surface and/or the surface of the preceding layer is incipiently melted with or without a reactive gas present which participates in a reaction. In this process more than 50% by volume of the future layer material passes through the molten state and solidifies, and the layer cools at $10^{<2>}$ to $10^{<8>}$ K/s above about 500 DEG C. The invention is characterised in that, during and/or after the energy from the energy source is coupled in, the solid filler material reacts with itself and/or with the substrate material with more than 2 kJ of heat being released per $\text{cm}^{<3>}$ of the layer to form a layer containing oxidic ceramic and/or hard material and/or one or more intermetallic compounds.





⑬ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 41 02 495 A 1**

⑤① Int. Cl.⁵:
C 23 C 24/10
B 23 K 26/00

⑳ Aktenzeichen: P 41 02 495.8
㉑ Anmeldetag: 29. 1. 91
㉒ Offenlegungstag: 30. 7. 92

DE 41 02 495 A 1

㉑ **Anmelder:**
Thyssen Edelstahlwerke AG, 4000 Düsseldorf, DE

㉒ **Erfinder:**
Behr, Friedrich, Prof. Dr.; Arndt, Christian, Dipl.-Ing.,
4150 Krefeld, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Verfahren zum Beschichten von Substraten**

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen von Schichten auf Substratoberflächen und zur Herstellung von Formteilen aus Vielschichten nach Art des Auftrags-schweißens mit Hilfe der Energiezufuhr einer Energiequelle in oder auf das Substrat oder in den Schichtwerkstoff, der zum Teil oder vollständig aus Zusatzmaterial besteht, unter Anschmelzung der Substratoberfläche und/oder der Oberfläche der vorausgegangenen Schicht mit oder ohne Gegenwart und Reaktionsteilnahme eines reaktiven Gases, wobei mehr als 50 Vol.-% des späteren Schichtmaterials den schmelzflüssigen Zustand durchlaufen, erstarren und die Schicht mit 10^2 bis 10^8 k/s oberhalb von ca. 500°C abkühlt. Kennzeichen der Erfindung ist, daß festes Zusatzmaterial während und/oder nach der Einkopplung der Energie der Energiequelle mit sich selbst und/oder mit dem Substratmaterial unter Wärmetfreisetzung von mehr als 2 kJ/cm^3 der Schicht unter Bildung einer Oxid-Keramik-enthaltenden und/oder einer hartstoffhaltigen und/oder eine oder mehrere intermetallische Verbindungen enthaltenden Schicht reagiert.

DE 41 02 495 A 1

Beschreibung

Das Verfahren betrifft die Herstellung von Schichten auf Substraten und die Herstellung von Formkörpern durch Aufbringung von Vielfachschichten mit Hilfe einer Energiequelle nach Art des Auftragsschweißens. Die Schichtmaterialien bestehen aus schwer oder nicht kalt- oder warmumformbaren Werkstoffen oder aus Werkstoffen, die sich aus mehreren Phasen zusammensetzen und zur Entmischung neigen, wenn sie auf konventionellem Wege über die flüssige Phase hergestellt werden.

Es ist seit vielen Jahrzehnten bekannt, das "Thermilverfahren" zum Schweißen großer Bauteile einzusetzen. Hierbei wird flüssiger Stahl durch chemische Energie aus z. B. Fe_2O_3 mit Aluminiumpulver nach einer Zündung durch eine Energiequelle erzeugt.

Es ist weiterhin bekannt, daß Formkörper aus z. B. einer härtbaren stahlgebundenen Hartstofflegierung (40% bis ca. 70% Vol. Titancarbid in einer Matrix aus einem Kaltarbeitsstahl, Schnellstahl, Nickelmartensit-ausbildenden Stahl, rostfreien Edelstahl usw.) aus den Pulvern des Hartstoffs und den Metallpulvern durch Vakuumsintern hergestellt werden. Die endgültige Formgebung erfolgt spanabhebend oder durch Schleifen. Die Fertigung ist sehr kostenintensiv. Ein schmelzmetallurgischer Weg würde zur Entmischung führen.

Ganz ähnlich werden Hartmetallteile hergestellt, die Cermets bestehen ebenfalls aus einem sehr hohen Hartstoffanteil, z. B. Karbide und Nitride, und Nickel als wesentliche Komponente der Bindephase (Matrix). Eigenschaften, Zusammensetzung und Anwendungen werden von Ettmayer, P., Kolaska, H. in "Metall, 43. Jahrgang, Heft 8, S. 742 bis 749" beschrieben. Cermets werden aus feinstkörnigen Hartstoffpulvern (ca. $1\text{ }\mu\text{m}$ Ø) und Metallpulvern durch Formgebung, Vakuumsintern und heißisostatisches Nachverdichten hergestellt. Der Herstellungsgang ist sehr kostenintensiv.

Die Erschmelzung eines Teiles des Titancarbides und Titanitrides zur Erzielung von Porenfreiheit sind nach Stand der Technik weder kostengünstig darstellbar, noch erwünscht, weil sie zur Vergrößerung der Hartstoffphasen durch Kornwachstum und zu mangelhafter Konturtreue führen würden.

Es wurde ferner versucht, Stäbe und Bleche aus der intermetallischen Verbindung AlNi (1/1 in Atomanteilen) durch Erschmelzung und Warmumformen herzustellen. Dieses Material ist besonders hochwarmfest und zunderbeständig. Die Herstellung scheiterte an der mangelnden Warmumformbarkeit. Dieses Material oder Material aus dem System AlNi wird aber häufig als sogenannter Haftgrund für Keramikschichten durch thermisches Spritzen des Pulvers auf ein Substrat verwendet. Keramikschichten auf Titansubstraten dienen überwiegend zur Herstellung von Implantaten. Als abrasionsfeste Schicht für Umformwerkzeuge u.ä. Anwendungen kommt diese Technik z.Zt. nicht in Frage, weil die Haftfestigkeit dieser Zwischenschicht als Haftgrund kaum über 40 N/mm^2 gesteigert werden kann.

Es ist nun weiterhin bekannt, daß Plasmaspritzschichten auf Werkzeugstählen aus härtbaren stahlgebundenen Hartstofflegierungen mit Hilfe eines Laserstrahles nachgesintert werden können. Dies wird beispielsweise in Behr, F.; Arndt, Ch.; Haberling, E.; "Legieren und Hartstofffüllen von Randschichten auf Werkzeugstahl mit Laserenergie" aus "Neue Werkstoffe und Verfahren für Werkzeuge" Proc. 2. Int. Konf., 6.-8.9. 1989 der Ruhr-Universität Bochum, S. 327-339, Verlag Schür-

mann & Klages KG, Bochum 1989 beschrieben. Die Nachteile dieser Technik bestehen in

1. der Verwendung zweier teurer Maschinen: Plasmaspritzanlage und Laser;
2. in der ungleichmäßigen Schichtdicke der Plasmaschichten auf kompliziert geformten dreidimensionalen Oberflächen und vor allem
3. in der geringen Flächenleistung des Lasers.

Bei einer Sinter-Schichtdicke von $0,3\text{ mm}$ und der Dicke der Umschmelzzone von ca. $0,1\text{ mm}$ wurde mit einem Laser mit $4,0\text{ kW}$ am Werkstück nur eine Flächenleistung von ca. $0,15\text{ m}^2/\text{h}$ erreicht.

Aus der DE 38 08 285 A1 ist ein Laser-Beschichtungsverfahren bekannt, bei dem Zusatzwerkstoffe mit einer tieferen Schmelztemperatur als die des Substrates eingesetzt werden, das Reaktionsgas mit dem Zusatzwerkstoff und ggf. mit dem Substratmaterial reagiert und Produkte in der Schicht erzeugt werden, die eine höhere Schmelztemperatur aufweisen, als die des Substratwerkstoffes. Als Beispiele der Reaktionsgase sind Stickstoff und gasförmige Kohlenwasserstoffe bekannt, die dabei z. B. Titanitrid oder Titancarbid in exothermer Reaktion als grobkörnige Dendriten bilden. Als Zusatzwerkstoffe werden bevorzugt tiefschmelzende intermetallische Verbindungen der Systeme Ti/Ni , Ti/Mn , Ti/Cr , Ti/Cu und Ti/Fe in Pulverform bzw. als thermische Spritzschicht verwendet, s. Bergmann, H.W.; Breime, J.: Lee, S.Z. "Laser hardfacing by melt bath reactions" in ECLAT 88, 2nd. Europ. Conf. on Laser Treatment of Materials, DVS Berichtsband 113, S. 70-73, DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf (1988). Die Umsetzung von Al, Zr oder Cr enthaltenden Systemen mit Edelgas-verdünnten Gasen, wie Sauerstoff, Stickstoff oder Methan, wird als Möglichkeit beschrieben. Aus dieser Veröffentlichung läßt sich nun beim Gasnitrieren mit reinem Stickstoff der Legierung TiAl 6 V 4 durch Umrechnung der gegebenen Daten auf 4 kW am Werkstück (cw-Betrieb) und $0,4\text{ mm}$ Aufschmelztiefe eine Flächenleistung von ca. $0,38\text{ m}^2/\text{h}$ ermitteln. Die erzielte Härte liegt bei bis zu $1000\text{ HV }0,1$. Die Nachteile dieser Technik bestehen darin, daß

1. die Diffusion und Reaktion der Reaktionsgase in die Oberfläche des Schmelzbades eine die Flächenleistung begrenzende Größe darstellt und
2. der Hartstoffanteil bzw. der Anteil der hochschmelzenden Schichtbestandteile nicht beliebig (über ca. 30-40 Vol.-%) gesteigert werden kann, weil zur Umsetzung mit dem Reaktionsgas die Konvektion im Schmelzbad Voraussetzung ist und damit eine geeignete Löslichkeit eines wesentlichen Teiles der hochschmelzenden Anteile in dem flüssigen Matrixmaterial und,
3. daß keine gehärtete oder härtbare Schichtmatrix herstellbar ist.

Aufgabe der Erfindung ist es, Schichten mit einem Anteil von über 40 Vol.-% hochschmelzender Phasen einer Korngröße von $\leq 10\text{ }\mu\text{m}$ ohne Entmischung zu erzeugen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Maßnahmen des Anspruchs 1 gelöst. Es hat sich überraschend gezeigt, daß sich durch Vorgabe von festen Reaktanden im Zusatzwerkstoff oder eines oder mehrerer fester Reaktanden im Zusammenwirken mit dem Substrat als Grundwerkstoff für die Beschichtung eine so hohe potentielle Energie vorgeben läßt, daß durch externe Energie nur noch gezündet werden muß. Das überraschende an dieser Technik ist, daß auch sehr grobkörnige Pulver von $\leq 63\text{ }\mu\text{m}$ Ø, die hier als reagierendes Zusatzmaterial verwendbar sind, vollständig zur

Reaktion gebracht werden können. Die Benutzbarkeit von grobkörnigem Material mit breitem Korngrößenspektrum stellt eine erhebliche Kostenminderung dar. Die untere Grenze der nötigen Menge potentieller Energie im Zusatzwerkstoff wurde hier im Experiment näherungsweise ermittelt.

Beispiele

Im folgenden werden alle weiteren Beispiele und Angaben auf einen Laser mit 4,3 kW am Werkstück, cw-Betrieb, Linienfokus mit 6·0,3 mm und einer Intensität von $2,55 \cdot 10^5 \text{ W/cm}^2$ bezogen. Auch wenn viele andere Verfahren der Zuführung von Zusatzmaterial wie Füll-
draht mit und ohne elektrischer Vorwärmung, Pulver-
förderung in den Brennfleck u. a. m. in Frage kommen,
wird hier bei allen Beispielen von einer Pulvervorbe-
schichtung von 1 mm Dicke auf Substraten aus Stahl
ausgegangen. Der Vorschub wurde so optimiert, daß
jeweils eine Umschmelztiefe (Schichtdicke) von 0,50 bis
0,6 mm erzeugt wurde.

Beispiel 1

Die Umschmelzung von Titanpulver zusammen mit Nickelpulver führt zur Bildung von TiNi (1 : 1 im Atomverhältnis), hier mit einem Aufmischungsgrad von ca. 20% Vol. mit dem Stahlsubstratmaterial (St 52).

Daraus errechnet sich eine im Zusatzmaterial vorhandene potentielle Energiedichte von ca. 3,5 kJ pro cm^3 der fertigen Schicht. Es wurde eine Flächenleistung von ca. $0,45 \text{ m}^2/\text{h}$ gefunden.

Beispiel 2

Die Umschmelzung der intermetallischen Verbindung TiNi als Pulver (1 : 1 im Atomverhältnis) mit zusätzlich 2 Atomen Ni führt zur Bildung von TiNi_3 . Die bei 20% Aufmischungsgrad berechnete potentielle Energiedichte beträgt ca. 2 kJ/cm^3 der fertigen Schicht. Die Flächenleistung wurde zu ca. $0,30 \text{ m}^2/\text{h}$ ermittelt und ist damit kaum höher als die des üblichen Umschmelzens oder Umschmelzlegierens des Stahlsubstrates.

Aus der Einschränkung der Erfindung auf potentielle Energiedichten im Zusatzwerkstoff oder im Zusammenwirken des Zusatzwerkstoffes mit dem Substrat von mehr als 2 kJ/cm^3 der Schicht geht hervor, daß zufällige Umschmelzungen, beispielsweise von zur Erhöhung der Absorption dünn graphitisierten Stahloberflächen beim Härten, nicht unter diese Erfindung fallen, weil die aus dem geringen Kohlenstoff-Eintrag errechenbare potentielle Energiedichte viel geringer ist.

Die Absorption der Laserstrahlung eines Kohlendioxid-Lasers in den Schmelzfleck beträgt nur ca. 10 bis 15% der abgegebenen Laser-Leistung. Der Energieeintrag durch den Laser liegt dann bei etwa 8 bis 13 kJ/cm^3 der Schicht.

Wenn vorzugsweise Zusatzwerkstoffe verwendet

von Titan mit Petrolkoks auf einem Substrat aus Stahl (St 52) führt zu einer Flächenleistung von ca. $0,55 \text{ m}^2/\text{h}$. Die bei 20% Vol. Aufmischungsgrad berechnete potentielle Energiedichte beträgt ca. 12 kJ/cm^3 der fertigen Schicht.

Beim Laser-Gasnitrieren von Titan nach Stand der Technik ergibt sich eine potentielle Energiedichte von ca. 24 kJ/cm^3 der fertigen Schicht. Aus dem Vergleich mit Beispiel 3 geht hervor, daß die Kinetik des Laser-Gasnitrierens stark gehemmt ist. Erfindungsgemäß ist es möglich, beide Methoden zugleich anzuwenden, um die Flächenleistung weiter zu steigern.

Beispiel 4

Die Umsetzung eines Pulvergemisches mit stöchiometrischer Zusammensetzung aus Ni und Al mit einem der Aufmischung entsprechenden Überschuß an Al auf einem Nickel-Substrat führt zur Bildung von NiAl (ca. 1 : 1 im Atomverhältnis) als Schicht. Die errechnete potentielle Energiedichte beträgt ca. $7,6 \text{ kJ/cm}^3$. Die Laser-Flächenleistung wurde zu etwa $0,60 \text{ m}^2/\text{h}$ ermittelt.

Der Vergleich mit Beispiel 3 lehrt, daß die Begrenzung der Flächenleistung bei der Erzeugung von hartstoffhaltigen Schichten in den hohen Beträgen der Schmelzwärmen und Schmelztemperaturen der Hartstoffe zu suchen ist. Sie sind höher als die der Metalle. Schliffbilder der hartstoffhaltigen Schichten zeigen, daß die Hartstoffe aller hier genannten Experimente schmelzflüssig bzw. in einer flüssigen Phase gelöst gewesen waren.

Es ist aber auch möglich, das erfindungsgemäße Verfahren auf das "Laser-Dispergieren" anzuwenden. Dazu kommt beispielsweise die Vorgabe eines Pulvergemisches aus Ti mit Ni und Kohlenstoff und Titanitridpulver in Frage, so daß eine Schicht aus TiC und TiN bzw. Titancarbonitrid in einer Matrix aus TiNi mit geringen Anteilen aus TiNi_3 (γ) erzeugt werden kann. In ersten Handversuchen wurden an Laser-umgeschmolzenem TiNi mit eingelagertem (ca. 5 Gewichts-%) TiNi_3 Härten bis zu 1000 HV gefunden, so daß dieses Material als Matrixmaterial in Frage kommt.

Beispiel 5

Die Umschmelzung der intermetallischen Verbindung TiNi als Pulver (1 : 1 im Atomverhältnis) mit einer zur TiC stöchiometrischen Petrolkoksmenge führt zur Schicht aus TiC in einer Nickelmatrix. Die potentielle Energiedichte wurde zu $7,3 \text{ kJ/cm}^3$ der fertigen Schicht bei 20% Vol. Aufmischungsgrad errechnet. Die Flächenleistung beträgt $0,44 \text{ m}^2/\text{h}$, TiC wurde feinkörnig mit $\leq 4 \mu\text{m}$ Ø ausgeschieden.

Es ist aber auch möglich, ein Pulvergemisch als Zusatzwerkstoff, z. B. aus der Verbindung Ni_2Al_3 (um den hohen Dampfdruck des Aluminiums zu senken) zusammen mit einem Pulver aus NiO umzuschmelzen. Als Produkt ist ein Material aus NiAl mit Al_2O_3 (Korund) zu erwarten. Durch die hohe Konvektion, die bekanntlich

Es ist natürlich auch möglich, mit dem erfindungsgemäßen Verfahren amorphe Schichten zu erzeugen. Dies bedingt bekanntlich extrem hohe Abkühlgeschwindigkeiten von etwa 10^6 bis zu 10^8 K/s, die durch die Verwendung gekühlter oder kalter Substrate und Herstellung besonders dünner Schichten möglich sind. Amorphe Eisen/Bor- oder Eisen/Bor/Siliziumlegierungen finden bekanntlich in der Elektrotechnik (Transformatoren etc.) Verwendung.

Weiterhin ist es möglich, sogenannte selbstfließende Legierungen aus z. B. Ni/Cr/B/Si- oder Co/Cr/B/Si, wie sie z.Zt. als thermische Spritzschichten verwendet werden, als Schichten herzustellen. Dabei wird hier erfindungsgemäß z. B. ein Pulverzusatzmaterial eingesetzt, welches aus einer Vorlegierung Ni-Cr bzw. Co-Cr besteht, und Bor und Silizium in elementarer Form enthält, so daß die potentielle Energie der Silizid- bzw. Boridbildung zur Erhöhung der Flächenleistung nutzbar wird.

Diese Legierungen, wie auch ähnliche Zusatzmaterialien, die z.Zt. als Vakuum-Hartlote verwendet werden, ergeben bei der Laserbehandlung besonders glatte Schichten mit sehr geringem Aufmischungsgrad.

Um Feinkörnigkeit des Gefüges und möglichst geringe Aufmischungsgrade zu erhalten, ist es sinnvoll, jeweils nur dünne Schichten in der Größenordnung 0,2 bis ca. 1 mm herzustellen und eine Energiequelle zu verwenden, die hohe Leistungsdichten liefert. Geringe Leistungsdichten würden das Substrat thermisch stark belasten. Bevorzugt wird deshalb zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ein CO₂-Laser mit Schutzgas- oder Reaktionsgaseinrichtung verwendet. Zur Herstellung von Schichten auf ebenen oder rotationssymmetrischen, großflächigen Substraten bietet sich dagegen die Verwendung einer Hochleistungsbogenlampe an, die zwar keine so hohe Leistungsdichte wie ein Laser aufweist, dafür aber hohe Gesamtleistungen einstrahlt.

Es bietet sich nun weiterhin an, mit einer Mehrfachbeschichtung den Aufmischungsgrad mit dem Substratmaterial zu vermindern. Dadurch wird im Fall der hartstoffgefüllten Schichten gleichzeitig erreicht, daß der Volumenanteil der Matrix pro Schicht abnimmt und damit z. B. die Härte zunimmt. Dies ist auch hilfreich zur Vermeidung von Rissen.

Das Zusatzmaterial kann in Form einer Schweißelektrode, einer Fülldrahtelektrode mit oder ohne elektrischer Beheizung, als Pulver-Vorbeschichtung, mit Hilfe einer Paste oder eines Schlickers mit anschließender Trocknung oder Entgasung in den Schmelzfleck gebracht werden. Es sind noch weitere Methoden hierzu bekannt. Eine diskontinuierliche Zuführung kommt mit Vorteil bei der Herstellung von Formkörpern in Frage, wobei man die Temperaturen der vorher aufgetragenen Schicht mißt, auf z. B. 1000°C abkühlen läßt, und anschließend wieder z. B. Pulver und Laserleistung zugibt. Hierbei kann es auch sinnvoll sein, den Laser zu pulsen. Dies ist insbesondere dann sinnvoll, wenn im Zusatzwerkstoff Komponenten mit einer tiefen Verdampfungstemperatur vorhanden sind, deren Gas in der Lage ist, die Laserleistung durch Plasmabildung zu absorbieren.

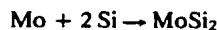
Aus Tabellenwerken; wie Barin, I.; Knacke, O. Thermochemical Tables Springer Verlag Berlin 1978 und 1973 und Kaufmann, L.; Nesor, H. Calculacion of Binary Systems, Calphad Vol. 2 bis Vol. 4 Pergamon Press, GB, (1978) und ähnlichen Datensammlungen, sind eine Fülle von Bildungsenthalpien intermetallischer Verbindungen und Hartstoffe bekannt. Die Angabe in Anspruch 7,

Phasen mit Bildungswärmen größer als 40 kJ pro ganz-
zählig geschriebenen mol exotherm zu bilden, erleich-
tert die Auswertung und ist etwa gleichwertig mit der
Angabe " > 2 kJ/cm³ des Schichtwerkstoffes" im An-
spruch 1. Demnach kommt eine große Anzahl interme-
tallischer Verbindungen und Hartstoffe als erfindungs-
gemäße Schichtprodukte in Frage. Außerdem geht aus
diesen Tabellen hervor, daß Schichtprodukte, die eine
hohe exotherme Bildungsenthalpie aufweisen, aus fe-
sten Zusatzstoffen gebildet werden können, die eine
kleine exotherme Bildungswärme aufweisen.

In Analogie zum Erläuterungsbeispiel 3 gelingt es
problemlos eine poren- und rißfreie Schicht aus härtba-
ren stahlgebundenen Hartstofflegierungen mit Hilfe
von Titanpulver und Petrolkokspulver auf Stahlsubstra-
ten herzustellen, wobei mit Hilfe eines der Aufmischung
entsprechenden Kohlenstoffüberschusses auch eine
martensitische Härtung in der Matrix erzielt werden
kann. Das Problem der Vermeidung der Rißbildung bei
der Beschichtung von gehärteten bzw. gehärteten und
angelassenen Substraten wird eingehend bei Behr, F.;
Arndt, Ch.; Haberling, E.; loc. cit. behandelt. Zur Be-
schichtung geeignet sind demnach Werkzeugstähle mit
einer möglichst hohen Martensitstarttemperatur, so
daß die mit der Martensitbildung verbundene Volumen-
dehnung des Substrates von einer noch austenitischen
Schichtmatrix bei der Abkühlung nach Laserbehand-
lung vertragen wird und das martensitische Gefüge der
Schichtmatrix erst anschließend und beim Anlassen ge-
bildet wird. Auf diese Weise sollten sich in der Schicht
Druckeigenspannungen erzeugen lassen.

Eine besonders vorteilhafte Anwendung des erfin-
dungsgemäßen Verfahrens ergibt sich aus der Herstel-
lung von Schichten und Stäben aus Molybdändisilizid
z. B. als Heizleiterwerkstoff.

Die Reaktion



setzt lt. Kaufmann, L.; Nesor, H.; loc. cit. 216 kJ pro
Formelumsatz in mol frei, so daß sich Stäbe z. B. in
einem Rohr als Form durch Zugabe des Si- und Mo-Pul-
vergemisches und Laserenergie herstellen lassen sol-
ten.

Beispiel 6

Es wurde ein Pulvergemisch hergestellt, das aus den
Anteilen in (mol) : U 0,0817; Ti 0,63428; Ta 0,01555; Nb
0,028593; Mo 0,098088; TiN 0,1938; Co 0,13573; Ni
0,1022; V 0,06353 und Petrolkoks 0,9226 bestand. Titan-
nitrid wurde hier als Verbindung vorgegeben, weil auf-
grund der höheren Affinität des Stickstoffes zu Titan im
Vergleich zu Kohlenstoff die Gefahr (bei der Erschmel-
zung unter Stickstoff als Reaktionsgas) vorliegen würde,
daß der Stickstoff die Kohle aus der Verbindung TiC
verdrängen könnte. Die errechnete potentielle Energie-
dichte dieses Gemisches beträgt etwa 9,5 kJ/cm³. Das
Pulvergemisch wurde mit Hilfe eines organischen Bin-
ders nach Stand der Technik zu einer Folie von 1 mm
Dicke verarbeitet, mit Hilfe eines Klebers auf Gummi-
basis auf ein Stahlsubstrat (St 52) geklebt, das Werk-
stück anschließend bei 370°C eine Stunde in Argon ent-
gast. Dann wurde mit den eingangs genannten Daten
diese Pulvervorbeschichtung mit dem CO₂-Laser umge-
schmolzen mit Argon als Schutzgas. Die erreichte Flä-
chenleistung betrug ca. 0,45 m²/h. Die Schicht enthielt
ca. 30 Vol.-% Eisen. Deshalb wurde der Beschichtungs-

vorgang noch mehrmals wiederholt. Dabei ließen sich nach fünf Beschichtungen nur noch Eisenspuren im Schliff auffinden.

Interessanterweise wurden im Schliffbild keine Hartstoffdendriten gefunden, sondern Ti/C/N-Partikel von bis zu 5 µm Ø. Durch geringe Dicken der Einzelschichten und geringe Vorwärmtemperaturen sollte sich diese Korngröße noch verringern lassen. Die Härte der obersten Schicht beträgt etwa 1400 HV.

Zur Herstellung von Formkörpern aus Cermets nach diesem Verfahren erscheint es als wesentlich eleganter, von einem Titansubstrat und einer dem Aufmischungsgrad der ersten Schicht angepaßten Zusammensetzung des Zusatzwerkstoffes in Kohlenstoff- und Bindephasenanteil auszugehen und die Flächenleistung weiter dadurch zu erhöhen, daß man die Wärme der vorausgegangenen Beschichtung als Substratvorwärmung nutzt.

Über Maßnahmen zur Lasertexturierung und Laserschmelzen von supraleitenden Schichten aus $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.5+x}$ wird von Hofer, G.; Kleinlein, W.; Friedrich, B.C. in "Metall", 44. Jahrgang, Heft 12, S. 1142–1147, Dez; 1990 berichtet. Es ist nun erfindungsgemäß möglich, aus Yttrium-Metall und/oder Bariummetall zusammen mit einem Sauerstoff-Überschuß-Träger in Sauerstoffatmosphäre, z. B. Bariumperoxid und/oder CuO , solche Schichten oder Formkörper durch Mehrfachbeschichtung mit hoher Flächenleistung herzustellen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen von Schichten auf Substratoberflächen und zur Herstellung von Formteilen aus Vielschichten nach Art des Auftragsschweißens mit Hilfe der Energiezufuhr einer Energiequelle in oder auf das Substrat oder in den Schichtwerkstoff, der zum Teil oder vollständig aus Zusatzmaterial besteht, unter Anschmelzung der Substratoberfläche und/oder der Oberfläche der vorausgegangenen Schicht mit oder ohne Gegenwart und Reaktionsteilnahme eines reaktiven Gases, wobei mehr als 50 Vol.-% des späteren Schichtmaterials den schmelzflüssigen Zustand durchlaufen, erstarren und die Schicht mit 10^2 bis 10^8 k/s oberhalb von ca. 500°C abkühlt, dadurch gekennzeichnet, daß festes Zusatzmaterial während und/oder nach der Einkopplung der Energie der Energiequelle mit sich selbst und/oder mit dem Substratmaterial unter Wärmefreisetzung von mehr als 2 kJ/cm³ der Schicht unter Bildung einer Oxid-Keramik-enthaltenden und/oder einer hartstoffhaltigen und/oder eine oder mehrere intermetallische Verbindungen enthaltenden Schicht reagiert.
2. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine Energiequelle mit einer Leistungsdichte von $\geq 10^3$ W/cm² verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Energiequelle ein energiereicher Stahl nach Art eines Lasers, ein Elektronenstrahl, ein elektrischer Lichtbogen oder eine Hochleistungslampe verwendet wird.
4. Verfahren nach den vorhergehenden Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Schichten auf das Substratmaterial nacheinander aufgebracht werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4 dadurch gekennzeichnet, daß das Zusatzmaterial diskontinuierlich zugeführt wird.

6. Verfahren nach den vorhergehenden Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß das Zusatzmaterial mindestens eine Komponente enthält, die einen tieferen Schmelzpunkt als das Substratmaterial aufweist.

7. Verfahren nach den vorhergehenden Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, daß Nitride und/oder Karbide und/oder Oxide und/oder Phosphide und/oder Silizide und/oder intermetallische Verbindungen während der Beschichtung exotherm gebildet werden, deren Bildungswärme als absoluter Betrag bei 25°C um mehr als 40 kJ pro mol der mit ganzzahligen Stöchiometriefaktoren geschriebenen Verbindung größer ist, als der Betrag, den die zur Schichtbildung benötigten Anteile des Zusatzmaterials aufweisen.

8. Anwendung des Verfahrens nach den vorhergehenden Ansprüchen auf die Bildung von Schichten oder Formkörpern aus einer härtbaren stahlgebundenen Hartstofflegierung mit mindestens 40 Vol.-% TiC in einer Metallmatrix hergestellt werden.

9. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 auf die Bildung von Cermet-Schichten oder Cermet-Formkörpern.

10. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 auf die Bildung von Schichten oder Formkörpern aus schwer oder nicht kalt- oder warmumformbaren intermetallischen Verbindungen oder mit einem über 40 Vol.-% der Verbindungen in einer Metallmatrix.

11. Anwendung des Verfahrens nach Anspruch 10, auf die Bildung von Schichten oder Formkörpern aus AlNi und/oder aus AlNi₃, oder aus Material, welches diese Phasen zu mehr als 50 Vol.-% enthält, und/oder aus einem oder mehreren Oxiden mit bis 50 Vol.-% aus der Reihe Aluminiumoxid, Oxid einer oder mehrerer der Seltenen Erden, Erdalkalimetalloxid, Zirkonoxid, Yttriumoxid.

12. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 auf Formkörper oder Schichten aus Molybdändisilizid (MoSi_2).

13. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 auf die Bildung abrasions- und/oder korrosionsbeständiger und/oder zunderbeständiger Schichten auf Substraten aus Titan oder Titanbasislegierungen oder auf denen der Reihe Ta, W, Mo, Zr, Hf, V, Nb.

14. Anwendungen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 auf die Bildung von Schichten auf Substraten aus Aluminium oder Aluminiumbasislegierungen.

15. Anwendungen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 auf die Bildung von Schichten oder Formkörpern mit einem Gehalt von 40 bis 100 Vol.-% eines oder mehrerer Karbide aus der Reihe u, V, Cr, Ti, Mn, Zr, Ta, Nb, Mo, Si, Ce, La, Y, Al, Hf, Fe, Co, Ni, Erdalkalimetalle, Cu und/oder eines oder mehrerer Nitride aus der Reihe und/oder eines oder mehrerer Boride aus der Reihe und/oder eines oder mehrerer Phosphide aus der Reihe und/oder eines oder mehrerer Silizide aus der Reihe und/oder eines oder mehrerer Oxide aus der Reihe.

16. Anwendungen des Verfahrens nach den vorhergehenden Ansprüchen auf die Bildung von Schichten auf Stahlsubstraten aus Werkzeugstählen, deren M_s-Temperaturen bei 300°C oder darüber liegt.

17. Anwendungen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 15 auf die Bildung von Schichten auf nickelmartensithärtbaren Stahlsubstraten.

18. Anwendung des Verfahrens nach den vorhergehenden Ansprüchen auf die Bildung einer Schicht, die eine hohe Verschleißfestigkeit und geringe Neigung zur Kaltverschweißung z. B. beim Kaltumformen von Edelstählen aufweist, auf Substraten auf Kupferbasis oder Stahlbasis mit Hilfe eines Zusatzmaterials in Form eines Pulvergemisches aus Titan und Kohlenstoff und/oder einer titanreichen Kupferverbindung, z. B. Ti_2Cu , zusammen mit Kohlenstoff, z. B. als gemahlener Petrolkoks.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65